

宽温域高强度高塑性化学复杂合金及其制备方法

制造
纳米技术与新材料

机会

开发能够在宽温域、特别是高温等极端环境下保持优异机械性能的先进结构材料，是航空航天、能源和汽车工业等领域面临的关键挑战。传统合金，包括许多高熵合金 (HEAs) 或化学复杂合金 (CCAs)，经常面临一个称为中温脆性 (ITE) 的重大限制。这种现象通常发生在600°C至900°C之间 (约为熔点的0.5-0.7倍)，会导致材料的延展性和断裂韧性急剧下降，严重损害材料的可靠性和安全性。现有的缓解ITE的策略，例如添加铬以提高抗氧化性或创建异质微观结构，效果有限，通常仅在狭窄的温度范围内有效，或会引入高温下微观结构稳定性的问题。此外，许多当前由L1₂纳米颗粒强化的CCAs，虽然在低温和环境温度下表现出高强度，但这些强化颗粒的体积分数不足、固溶温度低，导致其在高温下强度和稳定性下降。这创造了一个迫切的需求：需要一种新的合金设计，能够同时克服中温脆性，并在从低温到高温 (高达1000°C) 的范围内提供高强度、高塑性和微观结构稳定性。

技术

本发明通过一种新颖的化学复杂合金 (CCA) 设计和特定的热机械加工方法应对这些挑战。核心创新在于精心设计的多主元化学成分与受控热处理工艺的协同结合，以创造独特的双相微观结构。合金成分包括镍 (35-45 at.%)、钴 (15-25 at.%)、铁 (5-10 at.%)、铬 (5-15 at.%)、铝 (5-10 at.%)、钛 (3-8 at.%)，以及战略性添加的钽、铌、钨、钼和硼、锆或铪等微量元素。这种特定的配方服务于三个关键目的：Al、Ti、Ta和Nb等元素促进形成高密度、多尺度的L1₂有序强化颗粒；W和Mo增强面心立方 (FCC) 基体的固溶强度；微量元素 (B、Zr、Hf) 偏聚到晶界并提高其结合强度。专有的制备方法，包括均匀化、受控缓冷、冷轧、再结晶和时效等步骤，至关重要。它构建了两个独特的微观结构特征：第一，在晶粒内部形成高密度的多尺度L1₂析出相 (包括粗大的初生相和纳米级的次生相)，以实现有效的强化；第二，形成锯齿状 (非平面) 晶界。锯齿状晶界通过减少局部应力集中和阻碍沿晶裂纹扩展，在缓解中温脆性方面起着关键作用。这种成分设计和微观结构控制的集成方法使该合金能够在从-196°C到1000°C的极宽温度范围内表现出强度和塑性的卓越结合，有效解决了困扰传统高温合金和CCAs的ITE问题。

优势

- 在超宽温度范围 (-196°C至1000°C) 内表现出优异的机械性能，优于许多现有的高熵合金和镍基高温合金。
- 通过引入锯齿状晶界，成功抑制了600°C至900°C关键温度范围内的中温脆性 (ITE)。

备注

IDF:1543

IP状态

已申请专利



技术成熟度等级 (TRL) ?

4

发明人

杨涛教授

周英豪

查询: kto@cityu.edu.hk

Follow-on
FundingDevelop
ConceptProof
Concept

Build Value

- 在700°C下表现出显著的异常屈服行为，在保持良好塑性的同时实现高屈服强度（超过1000 MPa）。
- 显示出优异的高温抗氧化性。
- 在1000°C下仍能保持高强度（极限抗拉强度至少300 MPa），而许多传统合金在此温度下会急剧软化。
- 设计原理和制备方法适用于工业化生产。

应用

- 航空航天: 航空发动机和燃气轮机的关键部件，如涡轮叶片、涡轮盘、燃烧室和其他高温结构件。
- 能源: 用于发电的先进燃气轮机部件。
- 汽车: 高性能发动机部件、涡轮增压器、排气系统和制动系统。
- 船舶: 适用于潜艇和海上钻井平台等恶劣环境所需的结构材料。
- 通用高温工程: 任何需要在极端热条件下具有可靠强度和韧性的材料的应用领域。

